

Analisis Ramalan Pelemahan Hujan Semenanjung Malaysia Menggunakan Peta Rekaan Berkontur

(Rain Attenuation Prediction of Peninsular Malaysia using Contour Map)

Farah Aniza Nazri, Nurul Syahira Mohamad Zamani* & Mandeep Jit Singh
Centre of Advanced Electronic & Communication Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment
Universiti Kebangsaan Malaysia

ABSTRACT

Rain weaken the signal wave through the absorption and dispersion of signal reception causing disturbance in satellite systems operating above 10 GHz frequencies. This phenomenon resulting rain attenuation occurs. Malaysia is a tropical country and experiencing a high rate of rainfall hence facing a huge disturbance. The source of rainfall data used by this research are from the Department of Irrigation and Drainage Malaysia (DID) using a rain gauge Tipping Bucket method with rain gauge size diameter 0.25 mm per tip for measuring droplets of rainfall. One minute rain precipitate data were used to calculate the rainfall rate. precipitation rate calculation of rainfall. ITU-R model was selected according to the climate and levels of rainfall throughout the year as well as it is widely accepted on satellite communication systems research in the tropics. The rain attenuation in Peninsular Malaysia were found in the range of 40-51 dB at 0.01% of time and was illustrated through contoured map. The result of this rain attenuation prediction can be used as reference to other researchers for continued research to improve and enhance the quality of transmission and reception of radio signals on satellite systems which operate over 10 GHz in tropical climate and high rainfall.

Keywords: Rain Attenuation; Rain Rate; Rain Gauge; ITU-R Model

ABSTRAK

Hujan melemahkan isyarat gelombang mikro melalui proses penyerapan dan penyelerakan menyebabkan penerimaan isyarat mengalami gangguan pada sistem satelit yang beroperasi melebihi frekuensi 10 GHz. Fenomena ini menyebabkan berlakunya pelemah hujan. Malaysia merupakan sebuah negara yang beriklim tropika dan mengalami kadar hujan turun yang tinggi dan ini menyebabkan ia menerima gangguan yang tinggi. Sumber data taburan hujan yang digunakan dalam kajian ini adalah daripada Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (JPS) menggunakan kaedah tolok hujan Tipping Bucket dengan saiz tolok hujan berdiameter 0.25 mm per tip bagi menyukat titisan hujan turun. Data taburan hujan hujan berintegrasi 1 minit digunakan untuk pengiraan kadar hujan turun. Model ramalan pelemahan hujan ITU-R dipilih mengikut kesesuaian iklim dan kadar hujan turun sepanjang tahun serta diterima secara meluas dalam kajian sistem komunikasi satelit pada kawasan beriklim tropika. Nilai pelemahan hujan di Semenanjung Malaysia pada peratusan 0.01% adalah di antara 40-51 dB dan diilustrasikan melalui peta berkontur. Hasil ramalan pelemah hujan dalam kajian ini dapat digunakan sebagai rujukan kepada para penyelidik untuk lanjutan kajian dalam memperbaiki dan mempertingkatkan kualiti penghantaran dan penerimaan isyarat radio pada sistem satelit yang beroperasi lebih 10 GHz di kawasan beriklim tropika dan kadar hujan yang tinggi.

Kata Kunci: Pelemahan Hujan; Kadar Hujan; Tolok Hujan; Model ITU-R

PENGENALAN

Sistem teknologi komunikasi pada masa kini lebih tertumpu pada teknologi gelombang mikro yang menghantar dan menerima isyarat antara satelit dan stesen bumi. Permintaan kapasiti teknologi semakin meningkat menyebabkan kesesakan pada penggunaan jalur frekuensi C iaitu yang beroperasi dibawah 10 GHz. Oleh itu, untuk mempertingkatkan prestasi penghantaran isyarat data dan meningkatkan kadar penghantaran, jalur frekuensi yang tinggi lebih daripada 10 GHz digunakan iaitu seperti jalur frekuensi Ka yang

beroperasi pada frekuensi 18 GHz sehingga 20 GHz. Namun demikian terdapat beberapa gangguan yang menghalang perambatan isyarat gelombang dari stesen pemancar satelit ke bumi atau sebaliknya apabila penggunaan sistem frekuensi melebihi 10 GHz. Hujan merupakan salah satu fenomena alam yang melemahkan isyarat data sistem satelit yang dikenali sebagai pelemah hujan. Pelemah hujan berlaku apabila proses penyerapan dan penyelerakan gas atmosfera dan kandungan wap air dalam udara yang menjejaskan isyarat gelombang mikro (Ojo et al. 2008). Kesan pelemah oleh hujan memberi kesan pelemahan adalah ketara terutamanya

bagi negara-negara tropika dan khatulistiwa yang mengalami kadar hujan yang tinggi sepanjang tahun seperti di Malaysia (Abdulrahman et al. 2013).

Negara Malaysia terletak berhampiran dengan kawasan khatulistiwa dan beriklim tropika. Ciri-ciri iklim tropika adalah mempunyai suhu yang seragam, mengalami indeks hujan dan kelembapan yang tinggi serta menerima hujan yang lebat dan kerap sepanjang tahun (Mandeep 2007). Tambahan pula, bentuk mukabumi di Malaysia mempengaruhi taburan hujan seperti negeri yang berada di kawasan persisiran pantai yang mempunyai arus angin barat laut yang menghasilkan taburan hujan yang tidak sekata. Oleh itu, adalah penting untuk menjalankan kajian bagi mengukur kadar pelemah hujan yang lebih tepat khususnya bagi negara tropika bagi mengatasi permasalahan isyarat komunikasi satelit yang lemah (Aidawati et al. 2015). Menurut Karim (2000), kadar hujan yang tinggi menghasilkan desibel (dB) yang tinggi dan menghasilkan gangguan isyarat yang teruk. Nilai pelemahan hujan yang tinggi ini turut memberi kesan pada kos penyelenggaraan dimana ia memerlukan kuasa yang tinggi pada unit penghantar isyarat yang menjurus kepada penambahan kos pada setiap penyelenggaraan.

Beberapa model hujan ramalan pelemah telah dihasilkan beberapa penyelidik terdahulu yang tertumpu di kawasan beriklim sederhana seperti negara-negara Eropah dan Amerika Syarikat. Ramalan pelemah hujan kurang tepat dan tidak sesuai sekiranya model ini diaplikasikan kepada negara yang beriklim tropika dan khatulistiwa seperti Malaysia (Odedina dan Afullo 2007). Penggunaan model ITU-R (International Telecommunication Union-Recommendation) dalam meramal nilai pelemah hujan adalah meluas dalam kalangan penyelidik. ITU-R P.618-5 juga dikenali sebagai model Yamada bersesuaian di kawasan tropika disebabkan kajian pengukuran data sering dilakukan pada kawasan yang bersuhu sederhana. ITU-R P.618-11 dikenali sebagai model DAH (Dissanayake et al. 1997) yang merupakan model yang disarankan oleh ITU-R disebabkan ianya mempunyai prestasi ramalan yang sangat baik untuk pelemahan hujan di negara-negara bersuhu sederhana. Walau bagaimanapun, model ini cenderung digunakan pada kawasan tropika.

Model Karasawa telah diterima oleh Agensi Angkasa Eropah sebagai model yang sesuai untuk kawasan tropika. Model ini direka untuk meningkatkan prestasi ramalan pada tahap peratusan masa yang rendah pada tahap pelemahan hujan berlaku. Model Ramachandran diubahsuai daripada model DAH yang menggunakan konsep '*breakpoint*'. Dengan memperkenalkan kaedah '*breakpoint*', model ini mencapai prestasi yang lebih baik pada kawasan tropika berbanding model DAH. Model SAM juga merupakan salah satu model ramalan pelemahan yang sering digunakan yang menggunakan kriteria stratiform dan jenis perolakan hujan turun. Dalam perolakan hujan lebat apabila $R > 10$ mm/j, ketinggian hujan, h_r bergantung pada kadar hujan disebabkan angin yang kuat akan menyebabkan hujan yang lebat pada atmosfera. Berdasarkan kajian yang lepas oleh para penyelidik, model SAM menunjukkan prestasi yang lemah

dengan penghasilan peratusan masa yang tinggi dalam kadar pelemahan hujan.

Oleh itu, kajian mengenai pemilihan model ramalan pelemah hujan yang tepat diperlukan. Satu kajian untuk memilih model ramalan telah dilaksanakan oleh Aidawati et al. pada tahun 2015 di seluruh Malaysia. Menurut kajian tersebut, model ITU-R merupakan model yang terbaik kerana menghasilkan nilai RMS yang paling rendah iaitu 22.24% dan peratusan purata ralat ialah 10.59%. Pemetaan kontur turut disertakan bagi memberi ilustrasi yang menyeluruh terhadap nilai pelemah hujan di Semenanjung Malaysia dijalankan. Oleh yang demikian, kajian ini menggunakan model ITU-R P.618-12 dalam pengiraan nilai ramalan pelemah hujan di 10 lokasi di Semenanjung Malaysia menggunakan data taburan diperolehi daripada Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (JPS). Menurut Hasniza (2013), pelemah hujan diperolehi berdasarkan peratusan masa tahunan dipilih dapat menentukan suatu margin yang dapat memberikan garis panduan dalam merekabentuk sistem komunikasi yang mempunyai kebolehcapaian dan kebolehsediaan yang tinggi. Oleh itu, adalah penting untuk menjalankan kajian serta mengukur kadar pelemah hujan yang lebih tepat khususnya bagi negara tropika seperti Malaysia agar rekabentuk suatu sistem perhubungan mempunyai keberkesanan yang tinggi serta sistem yang cekap dapat dibangunkan bagi mengurangkan permasalahan gangguan isyarat.

METODOLOGI

Data taburan hujan di sepuluh lokasi di Semenanjung Malaysia diperolehi daripada Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) Malaysia. JPS merupakan sebuah organisasi kerajaan dibawah kementerian sumber asli dan alam sekitar. Kajian data taburan daripada JPS menggunakan kaedah tolok hujan. Tolok hujan *tipping bucket* Casella yang diguna berkalibrasi 0.25 mm/tip. Ia mempunyai sistem log dimana mampu merekod pelbagai masa termasuk data hujan satu minit apabila menyukat titisan hujan turun bagi setiap tip. ITU-R menyatakan bahawa data hujan 1-minit adalah penting kerana ia merupakan salah satu parameter penting dalam meramal nilai pelemah hujan (Capsoni dan Luini, 2008). Oleh itu, peluang ini tidak dilepaskan untuk mengkaji nilai pelemah hujan yang tepat dengan menggunakan data hujan berintegrasi satu minit yang direkod oleh JPS. Data hujan yang digunakan adalah selama 5 tahun bermula tahun 2010 hingga 2014.

Rajah 1 menunjukkan ilustrasi tolok hujan yang digunakan oleh Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia. Tolok hujan jenis Casella merupakan teknologi bagi merekod sukatan hujan turun secara automatik. Semakin kecil saiz diameter tolok tersebut, semakin sensitif penyukatan data taburan hujan turun. Kawasan yang mengalami tahap hujan turun yang tinggi, saiz tolok hujan yang besar digunakan seperti 0.5 mm per tip. Alat tolok hujan ini ditanam dalam tanah dan pada sekeliling alat dihadang untuk menghalang butiran tanah atau gangguan lain pada sekitar alat tolok hujan.



RAJAH 1. Ilustrasi tolak hujan

Perisian Surfer digunakan bagi mereka bentuk peta berkontur di Semenanjung Malaysia. Kaedah interpolasi 'Kriging' digunakan untuk mereka bentuk peta berkontur Semenanjung Malaysia mengikut peratusan masa menggunakan Perisian Surfer. Kaedah Kriging adalah kaedah bagi pemetaan permukaan peta dengan menggunakan nilai x , y dan z mengikut titik-titik tertentu secara berselerak. Nilai x mewakili longitud, nilai y mewakili latitud dan nilai z mewakili nilai pelemahan hujan.

Pengiraan nilai kadar hujan hujan, R_p adalah seperti berikut:

1 Tahun = 365 hari x 24 jam x 60 min = 525600 min
Kadar hujan setahun,

$$R_p = \frac{\text{Bilangan sampel per minit}}{525600} \times 100 \% \quad (1)$$

MODEL RAMALAN PELEMAHAN HUJAN ITU-R P.618-12

Dalam skop cadangan ramalan ITU-R, pelbagai parameter perambatan diperlukan dalam merereka bentuk sistem satelit. Jadual 1 merupakan senarai parameter dalam model pelemahan hujan ITU-R. Model ITU-R siri P adalah model yang digunakan untuk kajian perambatan gelombang radio. Peramalan pelemahan hujan menggunakan model yang sesuai bagi mendapatkan hasil yang mengikuti piawaian ramalan. Parameter – mewakili latitud pada ketinggian stesen bumi daripada paras laut, h_s mewakili ketinggian stesen bumi

atas paras laut, θ mewakili sudut ketinggian, f mewakili frekuensi, τ mewakili sudut satah pada arah melintang, ka mewakili nilai pemalar, $R_{0.01}$ mewakili kadar hujan pada peratusan masa 0.01, dan h_R mewakili ketinggian stesen penerima bumi daripada paras laut. Model ITU-R P.618-

JADUAL 1. Senarai parameter dalam model pelemahan hujan ITU-R

Model	Parameter						
ITU-R	h_s	θ	f	τ	ka	$R_{0.01}$	h_R

12 adalah model pelemahan hujan yang terkini keluaran 2015 (Recommendation ITU-R P.618-12) digunakan bagi menganalisis data perambatan. Model ITU-R P.618-12 ini telah diuji berdasarkan data daripada JPS dan menghasilkan ketepatan dengan kepelbagaian semulajadi fenomena perambatan bagi kebanyakan aplikasi dalam perancangan sistem satelit (Recommendation ITU-R). Pengukuran nilai ramalan pelemahan melebihi peratusan masa tahunan 0.01% iaitu berdasarkan persamaan berikut:

$$A_{0.01} = \gamma_R L_{eff} \text{ (dB)} \quad (2)$$

Dimana:

γ_R = pelemahan spesifik

L_{eff} = laluan condong efektif

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Lokasi dipilih secara rambang di seluruh Semenanjung Malaysia bagi mendapatkan kepelbagaian bentuk muka bumi dan taburan hujan di Malaysia. Jadual 2 menunjukkan data purata hujan tahunan (mm) dan kadar hujan pada $p\%$, R_p Semenanjung Malaysia. Berdasarkan Jadual 2, nilai Melaka dan Taiping mencatat purata hujan yang tinggi manakala Negeri Sembilan mencatat nilai purata hujan tahunan yang terendah. Jadual 2 jelas menunjukkan nilai kadar tidak bergantung kepada nilai purata tahunan (mm).

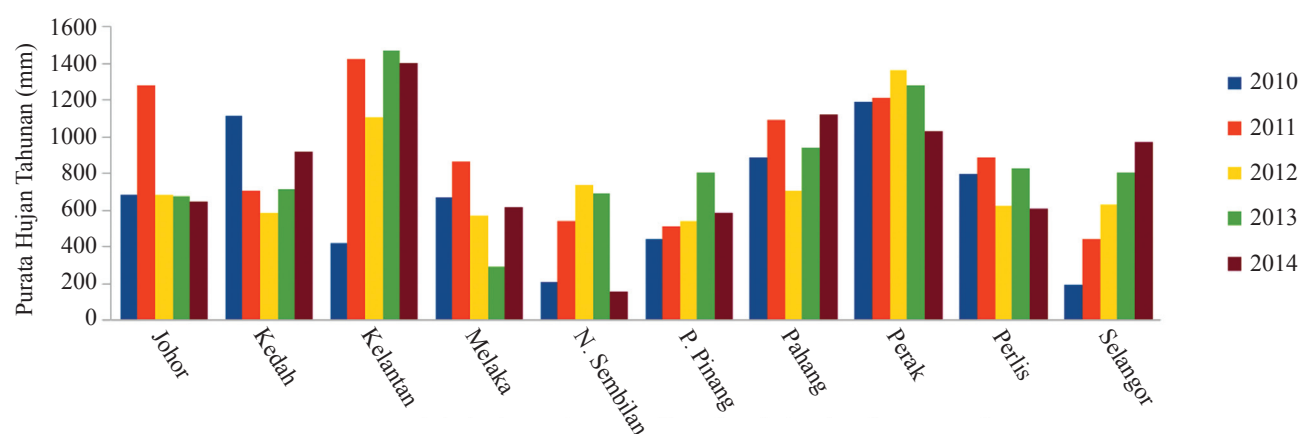
JADUAL 2. Nilai purata hujan turun dan peratusan $p\%$ kadar hujan Semenanjung Malaysia

Lokasi	Latitud (°N)	Longitud (°E)	Purata Hujan Turun (mm)	Kadar Hujan pada R_p (mm/jam)		
				$R_{0.001}$	$R_{0.01}$	$R_{0.1}$
Ldg. Union, Yong Peng, Johor	2.08	103.03	795.54	110.0	129.6	62.2
Kg. Paya, Kedah	5.77	100.9	809.26	117.6	139.2	62.0
Kg. Lalok, Kelantan	5.3	102.28	1164.51	75.6	133.4	62.4
Ldg. Lendu, Melaka	2.33	102.18	1240.87	187.2	125.6	59.8
Kg. Birah, N.Sembilan	2.87	102.25	467.22	105.8	114.0	57.2
Lrg. Batu Lanchang, P.Pinang	5.4	100.3	576.83	141.0	124.0	59.2
Bkt. Betong, Pahang	3.4	101.85	948.94	140.6	127.4	61.6
Bkt. Larut, Taiping, Perak	4.86	100.79	1216.83	214.0	165.4	88.2
Wang Kelian, erlis	6.68	100.19	751.07	143.8	120.8	58.6
Segambut, Selangor	3.19	101.67	608.07	207.6	146.2	66.6

Ilustrasi yang lebih jelas mengenai taburan hujan digambarkan di Rajah 2. Rajah 2 menunjukkan purata hujan selama 5 tahun dari tahun 2010 hingga 2014 bagi setiap lokasi kajian di Semenanjung Malaysia. Berdasarkan rajah berikut, lokasi di Perak dan Kelantan mengalami taburan hujan yang tinggi pada tahun 2012 dan 2014 lantas mencatatkan purata hujan tahunan yang paling tinggi berbanding lokasi yang lain. Mengikut bacaan pada lokasi di Kelantan mencatatkan taburan hujan yang tertinggi pada tahun 2014. Hal ini disebabkan, musim Angin Monsun Timur Laut atau dikenali sebagai musim yang bermula pada awal November sehingga awal Mac. Lokasi di Perak mencatatkan purata hujan yang tertinggi pada tahun 2012 sepanjang 5 tahun berbanding lokasi-lokasi lain. Hal ini kerana, Jabatan

Meteorologi Malaysia menyatakan bentuk muka bumi di Perak mempunyai kawasan tadahan hujan dan merupakan kawasan paling lembap di Malaysia.

Manakala lokasi Negeri Sembilan mencatatkan jumlah hujan yang paling rendah pada tahun 2014. Lokasi negeri yang lain menunjukkan corak hujan tahunan yang sekata seperti Kedah, Melaka, P. Pinang dan Pahang. Selain itu, negeri Johor, Perlis dan Selangor menunjukkan corak taburan hujan tahunan yang tidak sekata. Lokasi negeri tersebut terletak disebelah barat dan selatan Semenanjung Malaysia dimana berlakunya peralihan angin monsun barat daya yang merupakan faktor kawasan tersebut mengalami jumlah hujan yang rendah.



RAJAH 2. Jumlah hujan tahunan di setiap lokasi selama 5 tahun

Peraturan kadar hujan $R_{0.01}$ merupakan parameter yang penting dalam merekabentuk sistem satelit untuk menentukan 99.99% tahap kebolehsediaan dan kebolehpercayaan suatu sistem komunikasi satelit kerana ianya menjadi penanda

aras bagi satu sistem perhubungan yang baik (ITU-R, 2001). Jadual 3 menunjukkan peraturan kadar hujan $R_{0.01}$ dan beberapa parameter yang mempengaruhi nilai pelemahan hujan di Semenanjung Malaysia.

JADUAL 3. Nilai pelemahan hujan pada p%, Ap Semenanjung Malaysia

Lokasi	Latitud (°N)	Longitud (°E)	Altitud Stesen dari Paras	Panjang Laluan Condong, L_s	Panjang Laluan Efektif, L_{eff}	Sudut Dongak (°)	Pelemah Hujan pada p%, A_p (dB)		
							$A_{0.001}$	$A_{0.01}$	$A_{0.1}$
Johor	2.08	103.03	17.7	4.99	1.19	76.22	83.50	46.50	18.25
Kedah	5.77	100.9	87.3	4.89	1.10	77.04	86.60	48.43	19.09
Kelantan	5.3	102.28	42.3	4.97	1.21	75.89	84.32	47.02	18.48
Melaka	2.33	102.18	73.6	4.91	1.09	77.14	82.08	45.68	17.87
N.Sembilan	2.87	102.25	112.3	4.87	1.10	76.92	77.15	42.59	16.57
P.Pinang	5.4	100.3	17.7	4.95	1.04	77.86	82.41	45.82	17.96
Pahang	3.4	101.85	651.8	4.32	0.96	77.19	77.02	42.49	16.52
Perak	4.86	100.79	936.9	4.02	0.86	77.68	85.74	47.89	18.85
Perlis	6.68	100.19	0.1197	4.86	1.08	77.12	79.95	44.30	17.30
Selangor	3.19	101.67	0.0421	4.94	1.07	77.47	89.43	50.21	19.87

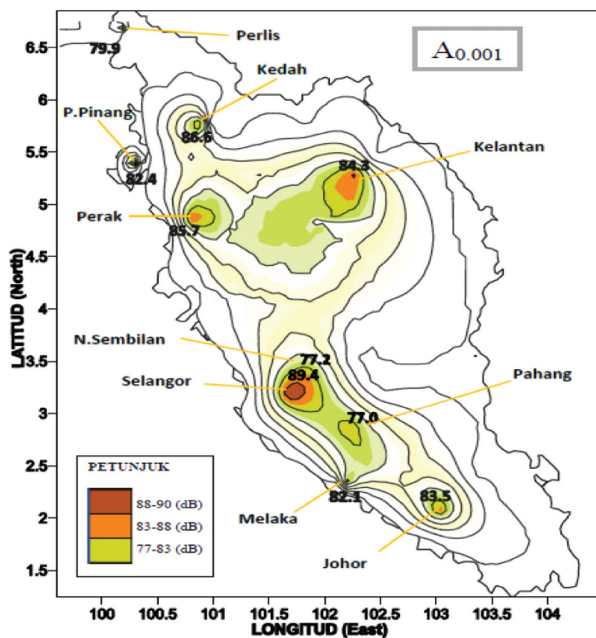
Secara teorinya jumlah hujan adalah sejajar dengan nilai ramalan pelemah hujan. Akan tetapi, berdasarkan Jadual 3, Selangor mempunyai nilai pelemah hujan yang tinggi berbanding di kawasan sekitar Melaka dan Perak. Ini kerana, nilai pelemah hujan bukan sahaja bergantung kepada jumlah

hujan malahan panjang laluan condong (Aidawati et al. 2015). Panjang laluan condong, L_s bagi setiap stesen bumi adalah berbeza-beza dimana dia bergantung kepada topologi suatu kawasan. Teori mengatakan panjang laluan condong L_s dari satelit ke bumi sejajar dengan nilai ramalan pelemahan hujan (Aidawati et al. 2015).

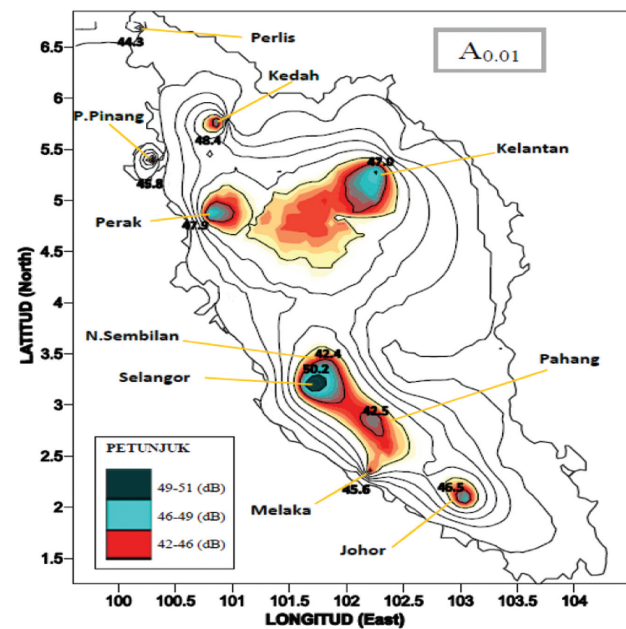
Menurut Ippolito (2008) sudut dongak, θ mempengaruhi nilai pelemah hujan. Apabila sudut dongak berkurang nilai pelemahan hujan akan meningkat. Kenyataan ini boleh dilihat di negeri Kelantan dimana negeri ini mempunyai nilai sudut dongak rendah tetapi mempunyai nilai pelemah hujra yang agak tinggi iaitu 47.02 dB. Jadual 3 turut menunjukkan nilai panjang laluan condong adalah hampir sekata dengan julat perbezaan iaitu 0.97. Di samping latitud lokasi kajian yang berbeza serta ketinggian stesen bumi di atas paras laut yang berbeza turut mempengaruhi hasil dapatan kajian. Perbezaan setiap parameter ini seterusnya memberi kesan terhadap nilai faktor pengurang, r_p dan juga panjang laluan condong

efektif, L_{eff} dimana ia bergantung kepada frekuensi operasi dan sudut dongakan. Menurut Aidawati et al. teorinya laluan condong efektif akan lebih panjang apabila mempunyai nilai sudut dongak yang rendah. Kenyataan ini dapat dibuktikan berdasarkan Jadual 3, negeri Kelantan mempunyai sudut dongak yang paling rendah dan mempunyai nilai panjang laluan efektif yang paling tinggi.

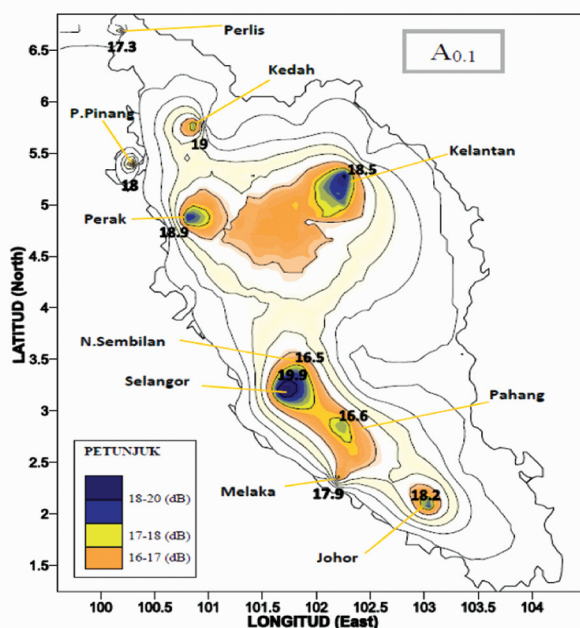
Berdasarkan pemerhatian daripada kajian ini, ramalan kadar hujan yang tepat penting dalam meramal nilai pelemah hujan di Malaysia. Di samping itu, jeles kelihatan, nilai pelemah hujan turut dipengaruhi oleh beberapa parameter lain.



RAJAH 3. Peta berkontur pelemahan hujan pada peratusan masa melebihi 0.001%



RAJAH 4. Peta berkontur pelemahan hujan pada peratusan masa melebihi 0.01%



RAJAH 5. Peta berkontur pelemahan hujan pada peratusan masa melebihi 0.1%

Rajah 3 sehingga 5 menggambarkan pemetaan berkontur nilai pelemahan hujan berdasarkan peratusan masa di 10 lokasi di Semenanjung Malaysia. Pemetaan ini dapat memberi ilustrasi yang lebih jelas mengenai nilai pelemah hujan. Berdasarkan rajah di atas, terdapat tiga negeri yang mengalami nilai pelemah hujan yang tinggi iaitu negeri Selangor, Kedah, dan Perak. Tahap ketinggian nilai pelemahan hujan dapat dilihat pada warna kontur merujuk pada petunjuk seperti dalam rajah berdasarkan julat yang diberikan. Perkara ini menunjukkan nilai pelemah hujan bukan sahaja dipengaruhi oleh kadar hujan nilai panjang laluan condong serta panjang laluan sudut efektif.

KESIMPULAN

Kajian ini mengkaji nilai pelemah hujan serta membuat pemetaan kontur di Semenanjung Malaysia. Data hujan satu minit yang digunakan diperolehi daripada Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (JPS) selama 5 tahun bermula tahun

2010 hingga 2014. Hasil kajian mendapati terdapat beberapa faktor lain yang mempengaruhi nilai pelemah hujan selain daripada kadar hujan di suatu kawasan seperti sudut dongak dan panjang laluan condong. Secara keseluruhannya nilai pelemah hujan pada peratusan 0.01% di Semenanjung Malaysia adalah di antara 40-52 dB. Peta berkontur yang dihasilkan memberikan ilustrasi yang lebih mudah para penyelidik untuk mengenal pasti kawasan yang mempunyai nilai pelemah hujan yang tinggi mahupun yang rendah.

PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan ribuan terima kasih kepada penaja dana AP-2015-007 diatas bantuan dan sokongan semasa menjalankan kajian ini.

RUJUKAN

- Mustapha, A., Nazri, F.A. & Mandeep, J. S. 2014. Kajian Pelemahan Hujan Pada Jalur Ku dan Jalur Ka di Malaysia Menggunakan Data Satelit TRMM. *Jurnal Kejuruteraan* 26: 45-54.
- Abdulrahman, A. Y., Rahman, T. A., Islam Md. Rafiqul, Olufeagba, B. J., Abdulrahman, T. A., Akanni, J. & Amuda, S. A. Y. 2014. Investigation of the Unified Rain Attenuation Prediction Method with Data from Tropical Climates. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 13(3): 1108-1111.
- Dissanayake, A., Allnutt, J. & Haidara, F. 1997. A Prediction Model That Combines Rain Attenuation and Other Propagation Impairments Along Earth-Satellite Paths. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 45(10): 1546-1558.
- Capsoni, C. & Luini, L. 2008. 1-Min Rain Rate Statistics Predictions From 1-Hour Rain Rate Statistics Measurements. *IEEE Transaction On Antenna s and Propagation* 56(3): 815-824.
- Chebil, J. & Rahman, T.A. 1999. Development of 1 Min Rain Rate Contour Maps for Microwave Applications in Malaysian Peninsula. *Electronics Letters* 35(20): 1772-1774.
- Chun, O. W. & Mandeep, J.S. 2013. Empirical Methods for Converting Rainfall Rate Distribution from Several Higher Integration Times into a 1-Minute Integration Time in Malaysia. *Geofizika* 30(2): 119-141.
- Hasniza, H. 2013. Kajian pelemahan perambatan isyarat komunikasi satelit oleh hujan pada jalur Ku dan Ka di Malaysia. Thesis Bachelor Degree, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Jabatan Meteorologi Malaysia. <http://www.met.gov.my/web/metmalaysia/climate/generalinformation/malaysia> [23 Mei 2017].
- Karim, M. 2000. Effective Path Length for Terrestrial Microwave Links Prediction based on Rain Attenuation Measurements in Malaysia. Thesis Bachelor Degree, Universiti Teknologi Malaysia.
- Laman Web Rasmi Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (JPS). <http://www.water.gov.my/home?lang=my> [23 Mei 2017].
- Mandeep, J.S. 2007. Equatorial Rainfall Measurement on Ku-band Satellite Communication Downlink. *Progress In Electromagnetics Research* 76:195-200.
- Mandeep, J. S. & Hassan, S. I. S. 2008. 60- to 1-Min Rainfall-Rate Conversion: Comparison of Existing Prediction Methods with Data Obtained in the Southeast Asia Region. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47(3): 925-930.
- Odedina, M. O. & Afullo, T. J. O. 2007. Rain attenuation prediction along terrestrial paths in South Africa using existing attenuation models. *AFRICON 2007*: 1-7.
- Ojo, J. S., Ajewole, M. O. & Sarkar, S. K. 2008. Rain Rate and Rain Attenuation Prediction for Satellite Communication in Ku and Ka Bands Over Nigeria. *Progress in Electromagnetics Research* 5: 207-223.
- Recommendation ITU-R P.618-12., 2015. Propagation Data and Prediction Methods Required for The Design of Earth-Space Telecommunication Systems. *Electronic Publication* 12: 1-29.
- Recommendation ITU-R P.618-7. 2001. Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Earth Space Telecommunication Systems. *Geneva: International Telecommunication Union (ITU)*.
- Hassan, S. I. S. 2002. Siri Syarahan Umum: Kajian Perambatan Isyarat Satelit-Ke Arah Sistem Perhubungan Global yang Berkualiti. Siri Pelantikan Profesor. Malaysia: *Penerbit Universiti Sains Malaysia*.
- Sani, S. F. M. & Rindam, M. 2011. Analisis Taburan Hujan dan Impaknya Kepada Sumber Air di Pulau Pinang. *Geografia: Malaysian Journal of Soceity and Space*, 7(1): 65-75.

Farah Aniza Nazri
Nurul Syahira Mohamad Zamani*
Mandeep Singh Jit Singh
Centre of Advanced Electronic & Communication
Engineering
Faculty of Engineering and Built Environment
Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM)
43600 UKM Bangi, Malaysia
Telephone: +6018-3501161

*Corresponding author; email: syahirazamani@gmail.com

Received date : 9th June 2017
Accepted date : 20th November 2017
In Press date : 1st April 2018
Published date : 30th April 2018